

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



## S. O. COORDINAMENTO TERRITORIALE SUD

## PROGETTO DEFINITIVO

## LINEA TARANTO-BRINDISI NUOVA STAZIONE DI TARANTO NASISI

IDROLOGIA E IDRAULICA

ELABORATI GENERALI

Relazione idrologica

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

I A 8 E 0 0 D 7 8 R I I D 0 0 0 1 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	C. Soave	Lug 2021	D. Di Domenico 	Lug 2021	G. Lestingi 	Lug 2021	Dario Tiberti Luglio 2021 

ITALFERR S.p.A.  
Gruppo Ferrovie dello Stato  
Direzione Regionale Sud  
UO Infrastrutture Sud  
Prof. Ing. Dario Tiberti  
Ordine degli Ingegneri Prov. di Napoli n. 10876

File: IA8E00D78RIID0001001A

n. Elab.:

## INDICE

1	PREMESSA.....	3
2	NORMATIVA E STANDARD DI RIFERIMENTO .....	5
3	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....	6
4	INQUADRAMENTO TERRITORIALE .....	7
4.1	Rete idrografica interferente con le opere in progetto .....	9
5	ANALISI IDROLOGICA .....	9
5.1	Analisi pluviometrica .....	9
5.1.1	Modelli probabilistici per l'analisi statistica delle piogge .....	11
5.1.2	I modello probabilistico TCEV .....	11
5.1.2.1	Approccio gerarchico alla stima regionale dei parametri.....	12
5.1.3	Metodo VAPI Puglia.....	14
5.1.4	Il modello probabilistico di Gumbel .....	17
5.2	Parametri morfometrici dei bacini .....	21
5.3	Calcolo della portata di progetto .....	23
5.3.1	Metodo cinematico.....	23
5.3.2	Determinazione del tempo di corrvazione.....	23
5.3.3	Determinazione del coefficiente di deflusso .....	24
5.3.4	Implementazione del metodo cinematico .....	26
5.3.5	Metodo SCS Curve Number .....	27
5.3.6	Determinazione del parametro Curve Number .....	27
5.3.7	Implementazione del metodo SCS Curve Number.....	29
6	CONCLUSIONI.....	31
	ALLEGATI.....	32

## 1 PREMESSA

L'Impianto di Taranto Nasisi di Rete Ferroviaria Italiana S.p.A., oggetto del presente progetto, è posto alla progressiva chilometrica 3+999 della linea Taranto-Brindisi, tra le stazioni di Taranto e di Monteiasi-Montemesola. Tale impianto attualmente svolge la funzione di Posto di Movimento e non vi si effettua servizio viaggiatori.

Il presente intervento, finanziato a valere sul Fondo Sviluppo e Coesione 2014-2020 nell'ambito del "Patto per il Sud", prevede la trasformazione dell'impianto esistente in stazione, con funzione anche di terminal intermodale passeggeri gomma-ferro.

L'intervento in progetto ha grande valore strategico per la provincia jonica, dal momento che la località ferroviaria di Taranto Nasisi, oggi dotata di un solo binario e non abilitata al servizio viaggiatori, si colloca in una posizione, molto vicina a importanti quartieri periferici di Taranto, a sud est della città, strategica per realizzare uno scambio modale tra i servizi ferroviari e i numerosi servizi extraurbani su gomma provenienti dai comuni della provincia di Taranto.

L'obiettivo principale è, quindi, quello di permettere ai viaggiatori di poter fruire di un servizio funzionale di interscambio gomma-ferro, in modo da incentivare l'uso di mezzi alternativi all'auto.

Il progetto, inoltre, è inquadrato nell'ambito di un accordo quadro siglato nel 2019 tra RFI S.p.A. e la Regione Puglia, che prevede anche l'attestamento dei treni regionali per Bari, che attualmente fermano nella stazione di Taranto.

Attualmente l'impianto è gestito da un apparato ACEI inserito nel CTC con un sistema di distanziamento conta assi. Nell'ambito del progetto è prevista la realizzazione di un impianto ACC, nonché delle seguenti opere:

- fabbricato viaggiatori dotato di area di attesa;
- fabbricato tecnologico;
- due marciapiedi di altezza H=55cm e lunghezza pari a 250 m con relative pensiline di lunghezza pari a 125m;
- sottopasso viaggiatori per il collegamento fra il I marciapiede e il II marciapiede;
- un'area di interscambio ferro-gomma con parcheggi per auto e quattro stalli per autobus extra-urbani;
- modifica e integrazione degli attuali apparati di sicurezza e segnalamento per la configurazione al nuovo piano di stazione e ai nuovi servizi;
- integrazione con apparati di telecomunicazioni per il servizio informazioni viaggiatori;
- realizzazione di tre binari, di cui due aventi un modulo di 250m e uno avente lunghezza di almeno 650m; dei tre nuovi binari, uno sarà di corretto tracciato, uno di incrocio e uno per l'attestamento dei servizi. Sono previsti itinerari contemporanei alla velocità di 60 km/h;
- adeguamento dell'impianto di trazione elettrica per configurarlo al nuovo piano di stazione.

Le attività relative agli interventi accessori, di miglioramento della viabilità stradale esistente, saranno realizzate con altro appalto, a cura di altro ente, con fondi appositamente destinati a tale intervento.

Lo scopo del seguente elaborato è quello di illustrare le risultanze dello studio idrologico in riguardo alla progettazione definitiva della linea Taranto-Brindisi, nuova stazione di Taranto Nasisi. La linea ferroviaria, nell'area di intervento, è interessata da 2 interferenze idrauliche.

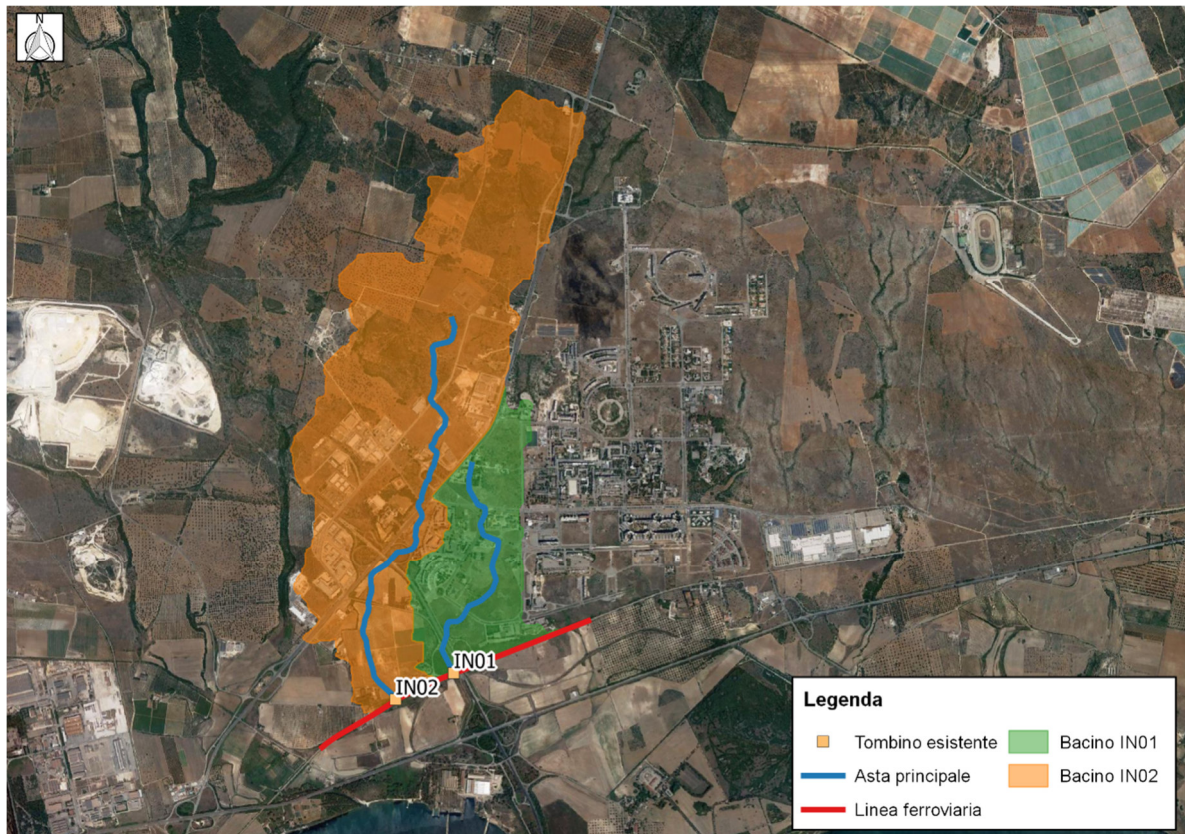


Figura 1-1 Inquadramento su ortofoto e indicazione degli attraversamenti esistenti

Data la presenza di queste due interferenze facenti parte del reticolo individuato sulla carta idrogeomorfologica, si è reso necessario lo sviluppo di uno studio idrologico-idraulico di dettaglio al fine di definire le portate al colmo di riferimento dei corsi d'acqua interferiti ( $T_r = 200$  anni) e di valutare la compatibilità idraulica dell'intervento in accordo alla pianificazione di bacino (Norme Tecniche di Attuazione del P.A.I.) vigente.

L'analisi idrologica, che ha lo scopo principale di definire le portate da utilizzare nello studio idraulico, è costituita dai seguenti punti:

- Reperimento della cartografia di base;
- Individuazione dei bacini imbriferi;
- Analisi morfometrica dei bacini;
- Raccolta ed analisi dei dati pluviometrici disponibili;
- Elaborazione delle curve di probabilità pluviometriche;
- Definizione degli idrogrammi o delle portate al colmo di progetto.

## 2 **NORMATIVA E STANDARD DI RIFERIMENTO**

- PIANO DI BACINO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO (PAI) approvato il 30 novembre 2005 e successivi aggiornamenti (19/11/2019) e relative Norme tecniche di attuazione (2005).
- Decreto del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti 17 gennaio 2018-Testo aggiornato delle norme tecniche per le costruzioni (NTC2018), di cui alla legge 5 novembre 1971, n. 1086, alla legge 2 febbraio 1974, n. 64, al decreto del Presidente della Repubblica 6 giugno 2001, n. 380, ed al decreto legge 28 maggio 2004, n. 136, convertito, con modificazioni, dalla legge 27 luglio 2004, n. 186.
- Circolare Ministero delle infrastrutture e dei trasporti 21 gennaio 2019, n. 7 recante "Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"»
- Analisi regionale dei massimi annuali delle precipitazioni in Puglia centro-meridionale
- Piano di gestione delle alluvioni – Autorità di bacino della Puglia – Direttiva 2007/60/CE – D.Lgs. 49/2010
- RFI – MANUALE DI PROGETTAZIONE DELLE OPERE CIVILI – PARTE II - SEZIONE 3 – CORPO STRADALE, RFI del 2021
- RFI – MANUALE DI PROGETTAZIONE DELLE OPERE CIVILI – PARTE II - SEZIONE 2 – PONTI E STRUTTURE, RFI del 2021
- RFI – CAPITOLATO GENERALE TECNICO DI APPALTO DELLE OPERE CIVILI – PARTE II -SEZIONE 9 – OPERE DI DIFESA DELLA SEDE FERROVIARIA, RFI del 2021

### 3 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

TITOLO DOCUMENTO	CODICE DOCUMENTO
<b>elaborati generali</b>	
Relazione idraulica e di compatibilità idraulica	IA8E00D79RIID0002001A
Relazione idraulica drenaggio di piattaforma	IA8E00D78RIID0002002A
Corografia dei bacini	IA8E00D78C4ID0001001A
<b>planimetrie sistemazioni idraulica</b>	
Sistemazione idraulica IN01 - Pianta e profilo ante-operam	IA8E00D78PZID0002001A
Sistemazione idraulica IN01 - Sezioni ante-operam	IA8E00D78WZID0002001A
Sistemazione idraulica IN02 - Pianta e profilo ante-operam	IA8E00D78PZID0002002A
Sistemazione idraulica IN02 - Sezioni ante-operam	IA8E00D78WZID0002002A
Sistemazione idraulica IN01 - Planimetria delle aree allagabili post-operam	IA8E00D78PZID0002003A
Sistemazione idraulica IN02 - Planimetria delle aree allagabili post-operam	IA8E00D78PZID0002004A
<b>planimetrie smaltimento</b>	
Planimetria di smaltimento acque meteoriche 1/2	IA8E00D78P7ID0002001A
Planimetria di smaltimento acque meteoriche 2/2	IA8E00D78P7ID0002002A
Planimetria di smaltimento acque meteoriche - Parcheggio	IA8E00D78P8FV010B001A
Dettagli idraulici smaltimento acque piattaforma - Tav. 1 di 2	IA8E00D78BZID0002001A
Dettagli idraulici smaltimento acque piattaforma - Tav. 2 di 2	IA8E00D78BZID0002002A

#### 4 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

La stazione Taranto Nasisi si colloca nell'ambito territoriale omogeneo dell'Arco Ionico il quale comprende i bacini di una serie di corsi d'acqua accomunati dalla condizione di avere come recapito finale il mar Jonio, nel tratto compreso tra la foce del Bradano e il litorale tarantino orientale, e di mostrare, in molti casi, soprattutto nei tratti medio-montani, condizioni morfologiche della sezione di deflusso molto strette e profonde, che localmente sono chiamate "gravine".

Tra i corsi d'acqua più importanti di questo ambito sono da annoverare il Fiume Lato, il Fiume Lenne, il Canale d'Aiedda, il Fiume Patemisco e il Fiume Tara.

La porzione dei reticoli idrografici presenti, posta generalmente a monte dei tratti di "gravina", mostra assetti plano-altimetrici non molto diversi da quelli dei bacini del versante adriatico delle Murge, mentre le porzioni di rete idrografica poste generalmente a valle degli stessi, assumono caratteri abbastanza simili a quelli dei tratti terminali dei principali fiumi del Tavoliere della Puglia. Con particolare riferimento ai reticoli dei fiumi Lato, Lenne, Galaso e del Canale d'Aiedda, sono stati realizzati ingenti interventi di bonifica e di sistemazione idraulica dei tratti terminali, che non hanno tuttavia definitivamente risolto il problema delle frequenti esondazioni fluviali degli stessi corsi d'acqua e del frequente interrimento delle foci per accumulo e rimaneggiamento di materiale solido, favorito anche della contemporanea azione di contrasto provocata dal moto ondoso. In alcuni tratti del litorale tarantino, in virtù delle relazioni che intercorrono fra livelli litologici a differente grado di permeabilità, le acque di falda presenti nel sottosuolo, e alimentate per la natura prevalentemente carsica del territorio sotteso, vengono a giorno in prossimità del litorale, ove danno origine sia alle risorgive sottomarine caratteristiche del Mar Piccolo, comunemente denominate "citri", che a veri e propri corsi d'acqua come il Tara e il Galaso.

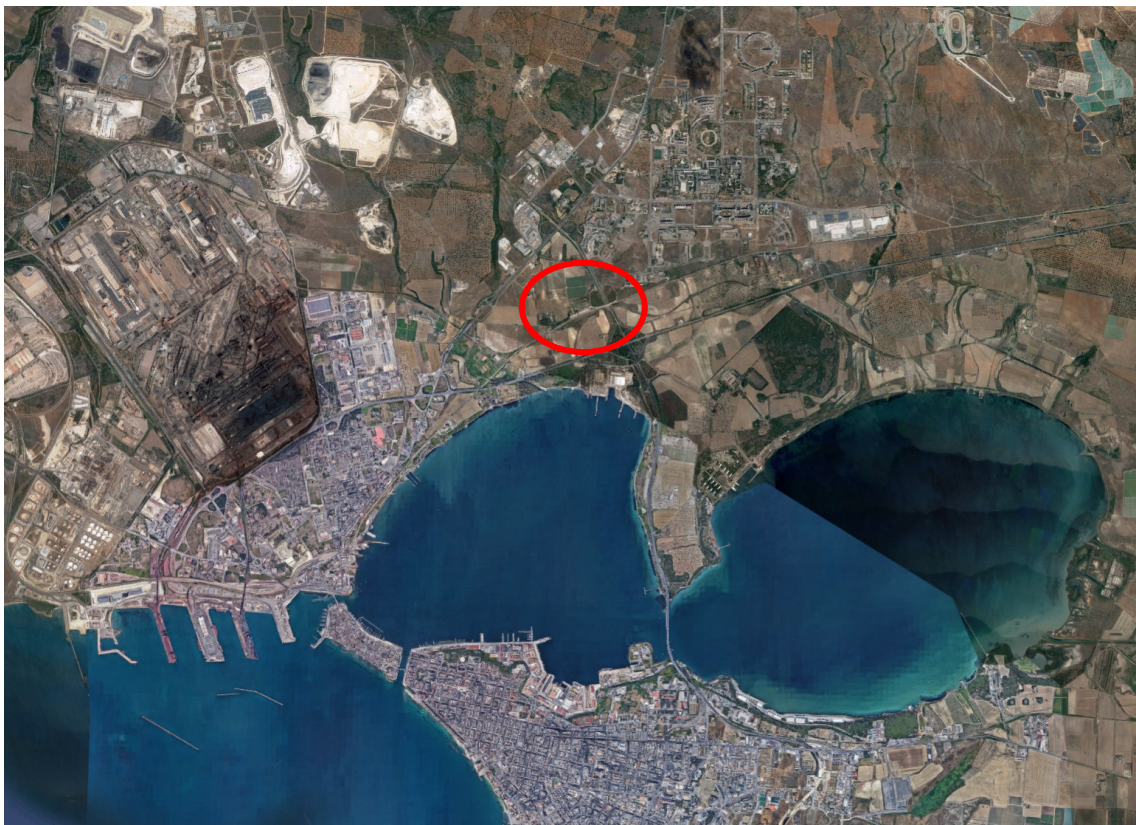


Figura 4-1 Inquadramento su ortofoto e indicazione della stazione di Nasisi

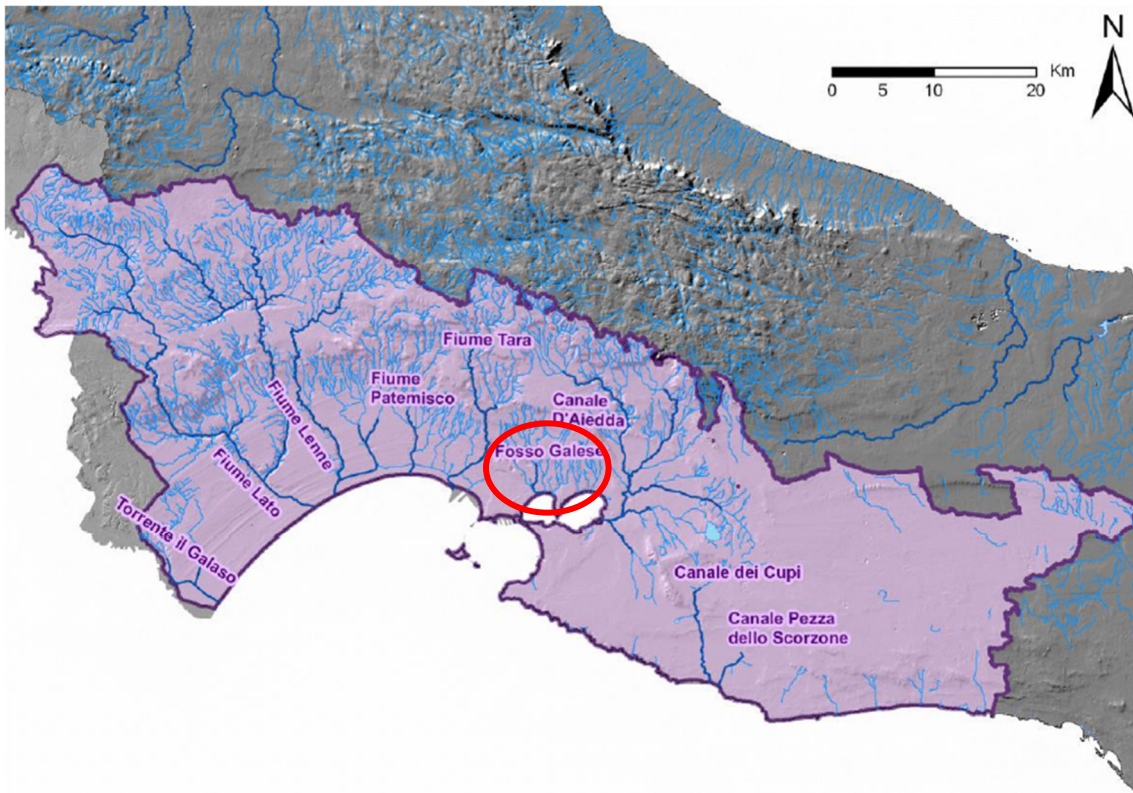


Figura 4-2 Ambito territoriale dell'Arco ionico (fonte : PGRA Puglia)



Figura 4-3 Inquadramento su ortofoto con individuazione delle interferenze



#### 4.1 Rete idrografica interferente con le opere in progetto

Con riferimento agli attraversamenti si riporta di seguito un elenco degli stessi con la competenza della rete idrografica interessata.

Progressiva	WBS di progetto	Corso d'acqua	Tipo interferenza	Tipologia
0+878.64	IN01	Corso d'acqua episodico	Interferenza con opera ferroviaria	Scolo
0+426.35	IN02	Corso d'acqua episodico	Interferenza con opera ferroviaria	Scolo

### 5 ANALISI IDROLOGICA

Lo studio idrologico è finalizzato alla determinazione delle curve di possibilità pluviometrica con assegnato tempo di ritorno, a cui consegue poi la determinazione delle portate di progetto, tramite l'utilizzo di un modello di trasformazione afflussi-deflussi.

Per il progetto in esame sono previste due modalità di determinazione della portata di progetto, definite a seconda della dimensione del bacino idrografico analizzato:

- Per bacini secondari con superficie  $S < 10 \text{ km}^2$  è stato utilizzato il metodo cinematico-razionale e il metodo SCS Curve Number in accordo con quanto riportato nel manuale RFI;

La scelta del tempo di ritorno è legata alla verifica della sicurezza idraulica dell'area di intervento richiamata nell'art 36 del PAI che è la *"condizione associata alla pericolosità idraulica per fenomeni di insufficienza del reticolo di drenaggio e generalmente legata alla non inondabilità per eventi di assegnata frequenza. Agli effetti del PAI si intendono in sicurezza idraulica le aree non inondate per eventi con tempo di ritorno fino a 200 anni"*.

Ai fini del dimensionamento del drenaggio di piattaforma e delle aree di pertinenza della Stazione ferroviaria in progetto, come ad esempio il parcheggio, sono state determinate le leggi di possibilità pluviometrica per i tempi di ritorno definiti dal "Manuale di progettazione delle opere civili". *"Sulla base dei dati idrometrici ovvero dello studio idrologico, ad ogni tipo di manufatto idraulico verranno associati i seguenti tempi di ritorno  $Tr$ :*

*Drenaggio della piattaforma (cunette, tubazioni.....):*

- *linea ferroviaria  $Tr = 100$  anni*
- *deviazioni stradali  $Tr = 25$  anni*

*Fossi di guardia:*

- *linea ferroviaria  $Tr = 100$  anni*
- *deviazioni stradali  $Tr = 25$  anni*

*Manufatti di attraversamento (ponti e tombini):*

- *linea ferroviaria  $Tr = 200$  anni*
- *deviazioni stradali  $Tr = 200$  anni*

*Inalveamenti:*

- *tratti a monte e a valle della linea ferroviaria  $Tr = 200$  anni per  $S < 10 \text{ Km}^2$ .*

#### 5.1 Analisi pluviometrica

La Regione Puglia ha una notevole estensione, ma le zone montuose sono quasi assenti. Il territorio è infatti pianeggiante per circa il 53%, collinare per il 45% e montuoso solo per il 2%. È dunque la regione meno montuosa d'Italia.

Il clima è tipicamente mediterraneo con le zone costiere e pianeggianti caratterizzate da estati in generale calde, ventilate e secche e inverni miti.

Le precipitazioni, concentrate in autunno inoltrato e in inverno, sono scarse e per lo più di carattere piovoso in pianura, mentre sull'altopiano delle Murge non mancano le nevicate in caso di irruzioni fredde da est.

Le escursioni termiche tra estate e inverno sono notevolissime nelle pianure interne: nel Tavoliere si può passare dagli oltre 40°C estivi, tipici del foggiano e del salento, ai -2°C/-3°C delle minime invernali.

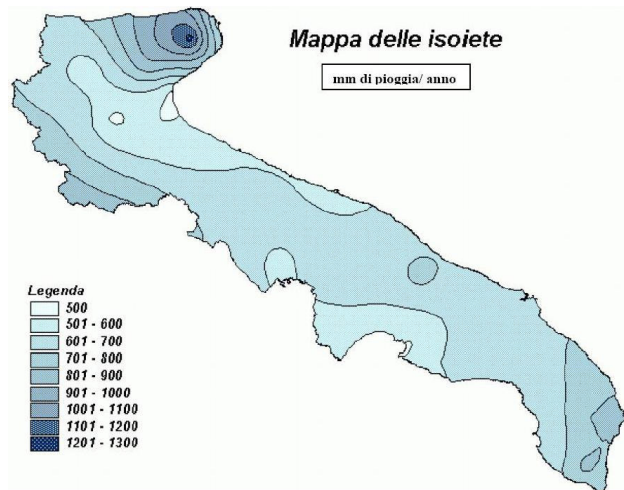


Figura 5-1 Mappa delle isoiete per la regione Puglia (Fonte: Autorità di Bacino della Puglia, Piano di Bacino, stralcio assetto idrogeologico).

Il servizio di monitoraggio e di archiviazione dei dati sul clima in Puglia è svolto dal Centro Funzionale Decentrato (CFD), incardinato nella Sezione Protezione Civile della Regione Puglia. Il Centro Funzionale Decentrato svolge attività di raccolta, concentrazione, elaborazione, archiviazione, validazione e pubblicazione dei dati rilevati sul territorio regionale attraverso la rete meteo-idrometrica di monitoraggio di proprietà, competenze ereditate dall'Ufficio Idrografico e Mareografico di Bari per i bacini con foce al litorale adriatico e jonico, dal Candelaro al Lato.

Con riferimento all'ambito oggetto di studio, sono disponibili osservazioni pluviometriche derivanti da pluviometri o pluviografi installati nei pressi della zona di progetto.

Le stazioni di riferimento per le analisi pluviometriche sono la stazione di Taranto San Giorgio Ionico e la stazione di Crispiano.

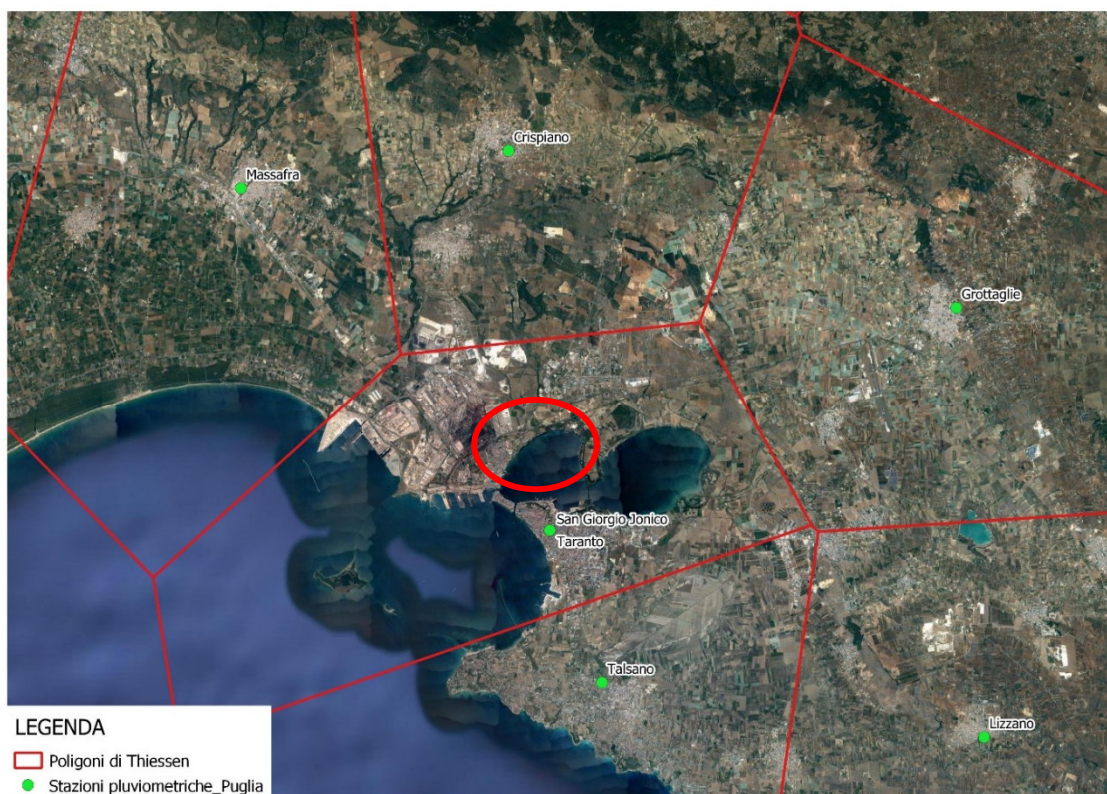


Figura 5-2 Stazioni pluviometriche di riferimento e poligoni di Thiessen

Per la distribuzione spaziale delle piogge è stato utilizzato il metodo dei poligoni di Thiessen o topoi. Tale rappresentazione ha il vantaggio di essere molto semplice nell'uso ma con risultati discreti nella distribuzione. Una volta individuate le stazioni pluviometriche esse vengono collegate tramite una maglia triangolare. Tali assi delimitano una porzione di area che racchiude una sola stazione. A tutta la superficie del topoiato si assegna la stessa precipitazione cumulata misurata nella stazione pluviometrica da esso contenuta.

### 5.1.1 Modelli probabilistici per l'analisi statistica delle piogge

In questo paragrafo vengono esposti i richiami fondamentali teorici relativamente all'analisi probabilistica degli estremi idrologici. Vengono descritte brevemente le leggi teoriche utilizzate in questo studio (TCEV e GUMBEL) con indicazioni sulle modalità di stima dei parametri.

### 5.1.2 I modello probabilistico TCEV

Il modello a doppia componente denominato TCEV (Rossi et al., 1984) ipotizza che i massimi annuali delle precipitazioni non provengano tutti dalla stessa popolazione ma da due popolazioni distinte legate a differenti fenomeni meteorologici. Tale ipotesi è peraltro giustificata dalla presenza in quasi tutte le serie storiche di piogge di uno o più valori (outliers) nettamente maggiori degli altri al punto da sembrare non provenienti dalla stessa popolazione dei rimanenti dati.

La funzione di probabilità cumulata del modello TCEV può essere espressa nella forma:

$$F_x(x) = \exp\left\{-\Lambda_1 \exp\left(-\frac{x}{\Theta_1}\right) - \Lambda_2 \exp\left(-\frac{x}{\Theta_2}\right)\right\}$$

La funzione ha quattro parametri,  $\Lambda_1$ ,  $\Theta_1$ ,  $\Lambda_2$  e  $\Theta_2$ . I parametri contraddistinti dal pedice 1 sono relativi agli eventi più frequenti (componente base) mentre quelli con pedice 2 si riferiscono ad eventi più gravosi e rari (componente straordinaria). Ognuna delle due componenti è, a tutti gli effetti, una legge di Gumbel.

I parametri  $\Lambda_1$  e  $\Lambda_2$  esprimono, rispettivamente per le due componenti, il numero medio annuo di eventi indipendenti superiori ad una soglia. I parametri  $\Theta_1$  e  $\Theta_2$  esprimono invece la media di tali eventi.

Spesso è utile fare riferimento, anziché alla  $X$ , alla variabile standardizzata

$$Y = \frac{X}{\Theta_1} - \ln \Lambda_1,$$

caratterizzata dalla funzione di probabilità cumulata:

$$F_Y(y) = \exp\left\{-\exp(-y) - \Lambda_* \exp\left(-\frac{y}{\Theta_*}\right)\right\}$$

nella quale risulta:

$$\Theta_* = \frac{\Theta_2}{\Theta_1} \quad \text{e} \quad \Lambda_* = \frac{\Lambda_2}{\Lambda_1^{1/\Theta_*}}$$

L'espressione completa della funzione di probabilità cumulata della TCEV può essere ulteriormente semplificata facendo riferimento alla variabile adimensionale  $K_{t,Tr} = X_{t,Tr} / \mu(X_t)$  dove con  $\mu(X_t)$  si è indicato il *valore indice* (la media della variabile). La funzione di probabilità cumulata di questa nuova variabile  $K_{t,Tr}$  è la cosiddetta *curva di crescita* la quale dipende dai parametri  $\Lambda_*$ ,  $\Theta_*$ ,  $\Lambda_1$  e  $\Theta_1$ , l'ultimo dei quali è rappresentabile analiticamente in funzione della media.

Tale curva risulta avere validità nell'ambito di sottozone omogenee, per cui rappresenta uno strumento di uso particolarmente comodo. Infatti, nell'ambito delle suddette sottozone, è sufficiente determinare la media della variabile ( $\mu(X_t)$ ) per avere, a partire dalla  $K_{t,Tr}$ , la distribuzione di probabilità finale.

$$X_{t,Tr} = \mu(X_t) K_{t,Tr}$$

### 5.1.2.1 Approccio gerarchico alla stima regionale dei parametri

Si sono già evidenziate le relazioni che intercorrono tra momenti teorici e parametri della distribuzione TCEV. Su queste relazioni si basa la strutturazione regionale della stima dei parametri del modello TCEV, in particolare con riferimento ai momenti del secondo e del terzo ordine.

Va innanzitutto detto che mediante l'espressione dei momenti teorici del modello TCEV, si dimostra che il coefficiente di variazione teorico dipende da  $\Lambda_*$ ,  $\Theta_*$  e  $\Lambda_1$  ed è quindi indipendente da  $\Theta_1$ , mentre il coefficiente di asimmetria teorico dipende da  $\Lambda_*$  e  $\Theta_*$  ed è quindi indipendente da  $\Lambda_1$  e  $\Theta_1$ .

La stima su base regionale di parametri dipendenti da momenti di ordine elevato si rende necessaria in quanto i coefficienti di asimmetria e di variazione campionari, espressi rispettivamente dalle relazioni

$$C_A = \sqrt{N} \cdot \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^3}{\left[ \sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2 \right]^{3/2}} \quad C_V = \frac{N}{\sqrt{N-1}} \cdot \frac{\left[ \sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2 \right]^{3/2}}{\sum_{i=1}^N x_i}$$

stimati dalle serie storiche dei massimi annuali delle portate istantanee, o delle piogge di fissata durata, presentano una variabilità spaziale che nell'ambito di vaste aree non è superiore alla variabilità campionaria. In altri termini, presentano variabilità campionaria molto elevata, ma bassa variabilità spaziale.

Ciò consente di ipotizzare l'esistenza di regioni nelle quali si può ammettere che i valori teorici di tali momenti siano costanti. Per le relazioni di cui si è detto in precedenza si ha come conseguenza la costanza dei parametri del modello TCEV direttamente legati ai suddetti momenti campionari.

La procedura di regionalizzazione adottata nello studio regionale è di tipo gerarchico strutturata su tre livelli:

#### I° Livello di regionalizzazione:

Si assume che il coefficiente di asimmetria  $C_A$  sia costante in una regione molto ampia (l'intera Italia Appenninica ed insulare ad eccezione della Sardegna). Ciò implica, per quanto detto in precedenza, la costanza dei parametri  $\Lambda_*$  e  $\Theta_*$  del modello TCEV nella medesima zona.

Inoltre in una regione omogenea rispetto a  $\Lambda_*$  e  $\Theta_*$ , risulta unica la funzione di probabilità cumulata della variabile standardizzata  $Y$ , in quanto essa dipende soltanto dai due suddetti parametri del modello. In assenza di dati sufficienti a mettere in discussione localmente la validità di questa assunzione, si pone che ovunque  $\Lambda_*$  e  $\Theta_*$  assumano i valori calcolati nell'ambito della zona unica.

#### II° Livello di regionalizzazione

Al secondo livello di regionalizzazione si assume che la regione omogenea rispetto a  $\Lambda_*$  e  $\Theta_*$  possa suddividersi in sottozona in cui il coefficiente di variazione  $C_V$  risulti costante, nel senso che vari con piccoli scarti di disturbo spaziale intorno a valori medi differenti da una zona all'altra.

Per il modello TCEV questo si traduce nella costanza del parametro  $\Lambda_1$ , nella sottozona omogenea, oltre che di  $\Lambda_*$  e  $\Theta_*$ . Il valore di  $\Lambda_1$  relativo alla sottozona va stimato utilizzando tutti i dati disponibili nella zona.

Se si individua una sottozona omogenea rispetto a  $\Lambda_1$  la variabile  $K_{t,T_r} = X_{t,T_r} / \mu(X_t)$  risulta identicamente distribuita, si ha cioè una curva di crescita unica per l'intera sottozona.

#### III° Livello di regionalizzazione

Il terzo livello di regionalizzazione consiste nell'individuazione di aree omogenee nelle quali sia possibile determinare le relazioni che legano la media  $\mu(X_t)$  (valore indice) alle caratteristiche fisiche di interesse. Infatti la variabilità della pioggia indice  $\mu(X_t)$  con le caratteristiche morfologiche (es. quota) e climatiche è tale che l'ipotesi basata sulla ricerca di aree con  $\mu(X_t)$  costante è applicabile solo per le piogge e spesso non è verificata.

Nell'analisi delle piogge orarie per ogni sito è possibile legare il valore medio  $\mu(X_t)$  dei massimi annuali della precipitazione media di diversa durata  $t$  alle durate stesse, attraverso la curva di probabilità pluviometrica:

$$\mu(X_t) = a t^n$$

### 5.1.3 Metodo VAPI Puglia

L'analisi regionale delle piogge massime annuali di durata compresa tra 1 ora e 1 giorno è stata effettuata per il territorio della Puglia centro-meridionale ad integrazione di quanto effettuato in Puglia settentrionale da Claps et al., (1994).

Il modello statistico utilizzato fa riferimento alla distribuzione TCEV (Rossi et al. 1984) con regionalizzazione di tipo gerarchico (Fiorentino et al. 1987). Per l'individuazione delle regioni omogenee di primo e secondo livello si è fatto ricorso a generazioni sintetiche Montecarlo in grado di riprodurre la struttura correlativa delle serie osservate (Gabriele e Iritano, 1994).

I risultati hanno evidenziato (Castorani e Iacobellis, 2001) per l'area esaminata la consistenza di zona unica di primo e secondo livello. L'intero territorio di competenza del compartimento di Bari del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale risulta quindi diviso, al primo e secondo livello, in due sottozone. La prima (Claps et al, 1994) comprende la Capitanata, il Sub-appennino Dauno, il Gargano e l'Alta Murgia, la seconda include la restante parte del Tavoliere e della Murgia e la Penisola Salentina.

L'analisi di terzo livello basata sull'analisi di regressione delle precipitazioni di diversa durata con la quota ha portato alla individuazione, oltre alle quattro zone omogenee in Claps et al. (1994), di altre due zone e delle rispettive curve di possibilità climatica.

#### Analisi di 1° e 2° Livello, individuazione delle zone omogenee.

L'analisi condotta sulle piogge giornaliere, consente di accogliere l'ipotesi che le 66 stazioni appartengano ad una zona unica, al primo livello, entro la quale si possono ritenere costanti i valori teorici dei parametri  $\Theta^*$  e  $\Lambda^*$ .

La stima, ottenuta utilizzando la procedura iterativa standard (Claps et al 1994), ha fornito i seguenti risultati:

$$\Theta^* = 2.121$$

$$\Lambda^* = 0.351$$

Anche nella procedura operata al 2° livello di regionalizzazione, la verifica dell'ipotesi di unica zona omogenea ha condotto ad un risultato positivo con valore costante di  $\Lambda_1$ .

Di seguito sono riepilogati i risultati ottenuti in tutta la regione.

Zona	$\Lambda^*$	$\Theta^*$	$\Lambda_1$
Puglia Settentrionale	0.772	2.351	44.63
Puglia Centro-meridionale	0.353	2.121	17.55

Figura 5-3 Parametri regionali TCEV di 1 e 2 livello

Zona	Ca	$\sigma^2$ (Ca)	Cv	$\sigma^2$ (Cv)
Puglia Settentrionale	1.66	0.52	1.31	0.554
Puglia Centro-meridionale	1.31	0.50	0.45	0.007

Figura 5-4 Asimmetria (Ca) e coefficiente di variazione (Cv) osservati

L'analisi regionale dei dati di precipitazione al primo e al secondo livello di regionalizzazione è finalizzata alla determinazione delle curve regionali di crescita della grandezza in esame. In particolare per utilizzare al meglio le caratteristiche di omogeneità spaziale dei parametri della legge TCEV (CV e G), è utile rappresentare la legge  $F(Xt)$  della distribuzione di probabilità cumulata del massimo annuale di precipitazione di assegnata durata  $Xt$  come prodotto tra il suo valore medio  $\mu(Xt)$  ed una quantità  $K_{T,t}$ , detta fattore probabilistico di crescita, funzione del periodo di ritorno  $T$  e della durata  $t$ , definito dal rapporto:

$$K_{T,t} = X_{t,T} / \mu(Xt)$$

Il valore di  $K_T$  può essere calcolato in funzione di  $T$  attraverso una approssimazione asintotica della curva di crescita (Rossi e Villani, 1995):

$$K_T = a + b \ln T$$

Zona omogenea	a	b	$T_0$	$\eta$
Puglia centro-meridionale	0.1599	0.5166	-0.6631	4.1053

Figura 5-5 Parametri dell'espressione asintotica

Per semplificare la valutazione del fattore di crescita sono riportati di seguito i valori di  $K_T$  relativi ai valori del periodo di ritorno più comunemente adottati nella pratica progettuale.

$T$	5	10	20	30	40	50	100	500	1000
$K_T$	1.26	1.53	1.82	2.00	2.13	2.23	2.57	3.38	3.73

Figura 5-6 Valori di  $K_T$  Puglia Centro-Meridionale

Nel terzo livello di analisi regionale viene analizzata la variabilità spaziale del parametro di posizione (media, moda, mediana) delle serie storiche in relazione a fattori locali.

Nell'analisi delle piogge orarie, in analogia ai risultati classici della statistica idrologica, per ogni sito è possibile legare il valore medio  $\mu(Xt)$  dei massimi annuali della precipitazione media di diversa durata  $t$  alle durate stesse, attraverso la relazione:

$$\mu(Xt) = a t^n$$

essendo  $a$  ed  $n$  due parametri variabili da sito a sito. Ad essa si dà il nome di curva di probabilità pluviometrica. Nell'area della Puglia settentrionale il VAPI Puglia fornisce l'individuazione di 4 aree omogenee dal punto di vista del legame fra altezza di precipitazione giornaliera  $\mu(Xg)$  e quota. Ognuna di esse è caratterizzata da una correlazione lineare con elevati valori dell'indice di determinazione tra i valori  $\mu(Xg)$  e le quote sul mare  $h$ :

$$\mu(Xg) = C h + D$$

in cui  $C$  e  $D$  sono parametri che dipendono dall'area omogenea.

Zona	$\alpha$	a	C	D	N
5	0.89	28.2	0.0002	4.0837	-
6	“	33.7	0.0022	4.1223	-

Figura 5-7 Parametri delle curve di 3 livello



Figura 5-8 zone omogenee, 3 livello

Per la zona 6 sono stati ricavati i parametri delle curve di possibilità pluviometrica utilizzati successivamente per ricavare le altezze di precipitazione.

Tr [anni]	Coefficienti piogge orarie	
	a [mm/hn]	n [-]
10	51.56	0.156
25	64.37	0.156
50	75.15	0.156
100	86.61	0.156
200	97.73	0.156
500	113.91	0.156

Gli eventi brevi ( $t < 60$  min), seguono dinamiche meteorologiche diverse e pertanto le curve di possibilità pluviometrica ottenute elaborando dati di piogge con durata maggiore di un'ora non danno valori affidabili per piogge di durata inferiore ai 60 min.

Si è verificato che i valori ottenuti risultano sovrastimati rispetto a quelli che effettivamente si possono verificare.

Bell ha elaborato una formula valida per piogge di durata inferiore ai 60 min:

$$\frac{h_{t,T}}{h_{60,T}} = 0,54 \cdot t^{0,25} - 0,50$$

I valori ricavati dalla precedente relazione e validi per durate di pioggia inferiori ai 60 min sono i seguenti:



Tr [anni]	Coefficienti piogge < 1 ora	
	a [mm/hn]	n [-]
10	53.36	0.464
25	66.61	0.464
50	77.77	0.464
100	89.63	0.464
200	101.13	0.464
500	117.88	0.464

#### 5.1.4 Il modello probabilistico di Gumbel

Il metodo di Gumbel prevede l'applicazione della distribuzione doppio-esponenziale (o di Gumbel, appunto) al campione di dati di precipitazione intesi come variabili indipendenti.

La funzione di probabilità cumulata che la definisce è:

$$F(x) = P(X \leq x) = e^{-e^{-\alpha(x-u)}}$$

Introducendo la variabile ridotta  $y$ :

$$y = \alpha(x-u)$$

si ha la forma canonica:

$$F(y) = e^{-e^{-y}}$$

I parametri  $\alpha$  e  $u$  sono legati alla media e alla varianza della popolazione. Sfruttando le informazioni contenute nel campione a disposizione si procede alla loro stima seguendo diversi metodi. Si otterranno parametri diversi per ogni durata di precipitazione.

Per una data durata di precipitazione, si ordinano le  $N$  altezze di precipitazione in ordine crescente e si numerano da 1 ad  $N$ . Ad ogni altezza di precipitazione si associa la relativa frequenza cumulata di non superamento, calcolata con la formula di plotting position di Weibull:

$$F_i = \frac{i}{N+1}$$

A denominatore si ha  $N+1$  in luogo di  $N$  per evitare che il più grande evento verificatosi sia caratterizzato da una frequenza cumulata di non superamento pari a 1: valore che rappresenta l'evento impossibile da superare.

Il metodo di Gumbel per la stima dei parametri della distribuzione si fonda sull'ipotesi di confondere la probabilità di non superamento di una certa altezza di precipitazione (relativa ad una popolazione) con la sua frequenza cumulata di non superamento (che si riferisce, invece ad un campione della popolazione suddetta), cioè

$$F(h_i) \cong F_i$$

La variabile ridotta da associare ad ogni altezza di precipitazione viene quindi calcolata come:

$$F(h_i) = F_i = F(y) = e^{-e^{-y}} \quad \text{e} \quad F_i = \frac{i}{N+1} \Rightarrow y_i = -\ln \left[ -\ln \left( \frac{i}{N+1} \right) \right]$$

Con questa assunzione, la variabile ridotta  $y$  dipende solamente da  $h$  con la relazione lineare:

$$y = \alpha(h - u)$$

La stima dei parametri  $\alpha$  e  $u$  si ottiene sfruttando il metodo dei momenti, in base al quale i parametri della distribuzione vengono ottenuti eguagliando la media campionaria alla media della distribuzione della popolazione. Otteniamo quindi per  $\alpha$  e  $u$  le espressioni:

$$\alpha = \frac{1.283}{S_h} \quad u = m_h - \frac{0.577}{\alpha}$$

Introducendo ora il concetto di tempo di ritorno,  $T_r$ , cioè il tempo che mediamente trascorre tra la realizzazione di un evento e di un altro di entità uguale o superiore, si riesce ad ottenere l'espressione che esprime le altezze di precipitazione in funzione del tempo di ritorno:

$$T_r(h) = \frac{1}{1 - F(h)} \Rightarrow F(h) = \frac{T_r - 1}{T_r}$$

$$e^{-e^{-\alpha(h-u)}} = \frac{T_r - 1}{T_r} \Rightarrow h = u - \frac{1}{\alpha} \ln \left[ -\ln \left( \frac{T_r - 1}{T_r} \right) \right]$$

Grazie al metodo di Gumbel è stata ricavata un'espressione analitica della funzione  $h(T_r, \tau)$  che fornisce il valore di  $h$  in funzione del tempo di ritorno per una prefissata durata di precipitazione. Si vuole ora trovare un'espressione analitica che, per un dato tempo di ritorno, fornisca l'altezza di precipitazione in funzione della durata.

A questo scopo, si assegna alla funzione  $h(T_r, \tau)$  la seguente forma:

$$h(T_r, \tau) = a(T_r) \tau^n$$

Queste equazioni, una per ogni prefissato tempo di ritorno, sono dette curve di possibilità pluviometrica (o climatica).

L'intensità di precipitazione è definita come l'altezza di precipitazione per unità di tempo ed ha la forma:

$$j(T_r, \tau) = \frac{h(T_r, \tau)}{\tau} = a \tau^{n-1}$$

Passando alla notazione logaritmica, l'equazione della curva di possibilità pluviometrica assume la forma lineare, e viene ottenuta interpolando i valori per regressione lineare ai minimi quadrati. Gli scarti da minimizzare sono quelli verticali, in quanto la misura di  $h$  soffre di maggiori incertezze rispetto a quella del tempo di precipitazione.

$$\log h = \log a + n \log \tau$$

Per la stazione di Taranto San Giorgio Ionico sono stati ricavati i parametri delle curve di possibilità pluviometrica utilizzati successivamente per ricavare le altezze di precipitazione. In allegato sono presenti tutte le analisi dettagliate.

Tr	Coefficienti piogge orarie	
	a	n
[anni]	[mm/hn]	[-]
10	48.09	0.260
25	58.88	0.260

50	66.88	0.260
100	74.81	0.260
200	82.72	0.260
500	93.15	0.260

Anche in questo caso è stata utilizzata la formulazione di Bell per ricavare i parametri inferiori all'ora

Tr [anni]	Coefficienti piogge < 1 ora	
	a [mm/hn]	n [-]
10	49.76	0.464
25	60.93	0.464
50	69.21	0.464
100	77.42	0.464
200	85.60	0.464
500	96.40	0.464

Per la stazione di Crispiano sono stati ricavati i parametri delle curve di possibilità pluviometrica utilizzati successivamente per ricavare le altezze di precipitazione. In allegato sono presenti tutte le analisi dettagliate.

Tr [anni]	Coefficienti piogge orarie	
	a [mm/hn]	n [-]
10	50.80	0.256
25	60.65	0.261
50	67.95	0.264
100	75.20	0.266
200	82.42	0.267
500	91.95	0.270

Anche in questo caso è stata utilizzata la formulazione di Bell per ricavare i parametri inferiori all'ora

Tr [anni]	Coefficienti piogge < 1 ora	
	a [mm/hn]	n [-]
10	52.57	0.464
25	62.76	0.464
50	70.32	0.464
100	77.82	0.464
200	85.29	0.464
500	95.15	0.464

Per il progetto in esame si è preso come riferimento il metodo VAPI che fornisce i parametri più cautelativi per la determinazione della portata di progetto sia per gli attraversamenti sia per il drenaggio acque di piattaforma.

## 5.2 Parametri morfometrici dei bacini

La definizione del bacino idrografico in termini di estensione areale, conseguente la sua delimitazione, è condizionata dall'individuazione della sua sezione di chiusura. Per determinare tali parametri si è agito analizzando i dati del DTM con maglia 5 x 5 m forniti dal SIT della Regione Puglia.

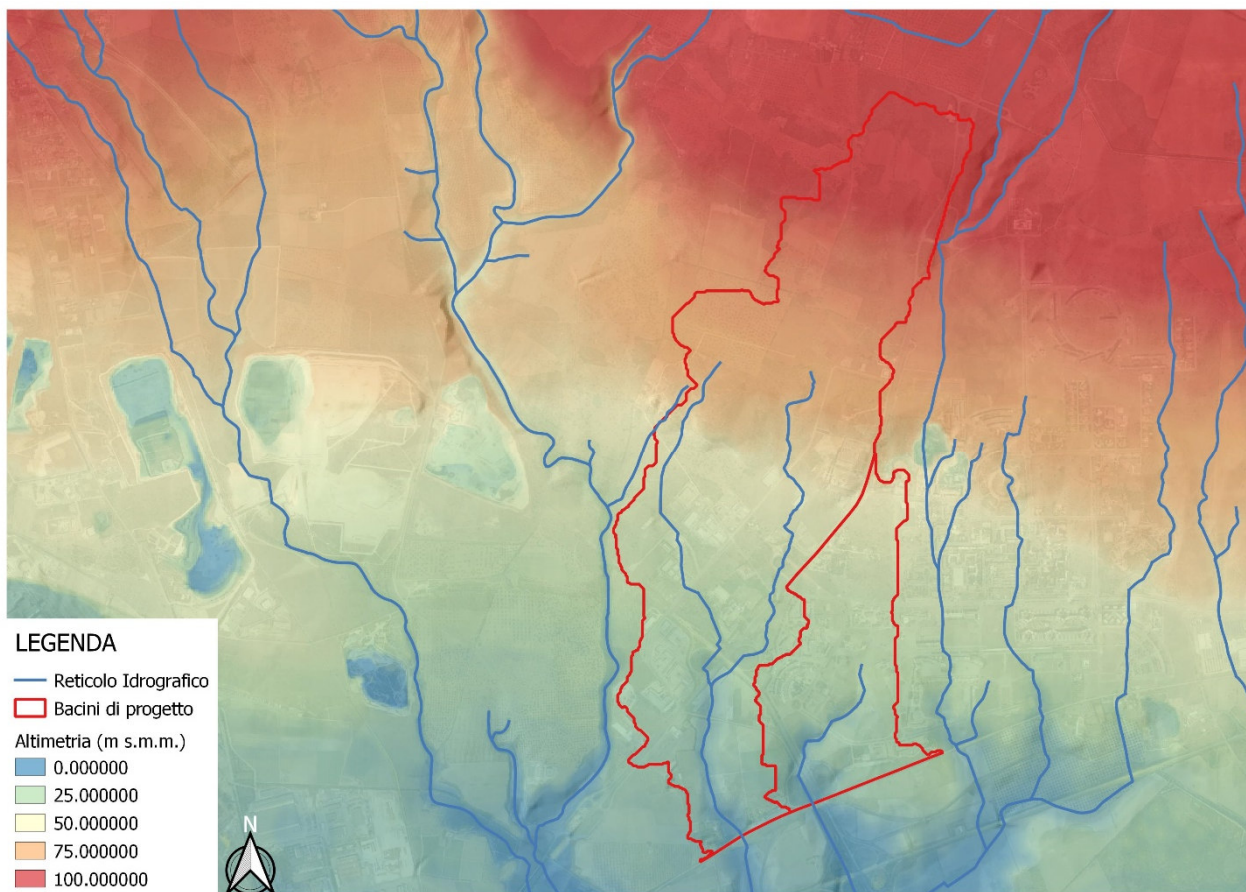


Figura 5-9 carta altimetrica con indicazione dei bacini minori

Analizzando le direzioni di flusso e le rispettive linee è possibile raggiungere al risultato finale, di seguito esposto. Sulla base del DTM, utilizzando i moduli del software QGis, è stata ricostruita la complessa rete idrografica dell'area di intervento e sono stati perimetrati i bacini afferenti ai corsi d'acqua interferenti con la linea ferroviaria di progetto

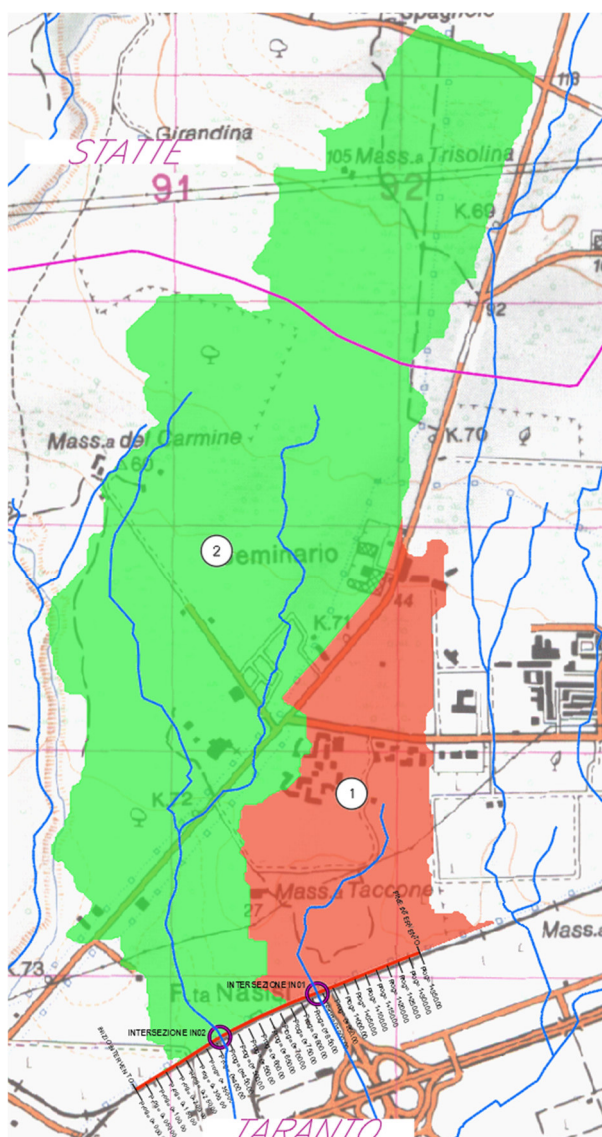


Figura 5-10 Indicazione dei bacini ricavati tramite DTM

Le tabelle sotto riportate analizzano nel dettaglio le caratteristiche dei bacini in particolare: l'area in chilometri quadrati del bacino (**Area Bacino**), le coordinate del baricentro del bacino (**Coord. centroide bacino**), altitudine minima (**Zmin**) – massima (**Zmax**) – media (**Zmedia**) del bacino e altitudine della sezione di chiusura (**Zchiusura**), lunghezza dell'asta individuata (**Lasta**) e relativa pendenza (**j ASTA**) ed infine pendenza media del bacino (**j media Bacino**).

Progres.	WBS di progetto	Area (km <sup>2</sup> )	Coord. centroide bacino		Zmin bacino	Zmax bacino	Zmedia bacino	Zchiusura bacino	Lasta (m)	jasta (m/m)	jmedia bacino (m/m)
			X	Y	(m s.m.m.)	(m s.m.m.)	(m s.m.m.)	(m s.m.m.)			
-	-										
0+878.64	IN01	1.123	691774.4	4487544.8	5.3	61.8	28.8	3.8	1850	0.020	0.060
0+426.35	IN02	4.057	691375.7	4488734.5	5.4	120.5	57.4	4.9	3239	0.021	0.084

## 5.3 Calcolo della portata di progetto

### 5.3.1 Metodo cinematico

La formula razionale, o metodo cinematico, determina la massima portata defluente alla sezione di chiusura come una parte della pioggia caduta su tutta l'area del bacino in un certo intervallo di tempo. Alla base di tale metodologia vi è l'assunzione di una pioggia costante nel tempo ed uniforme nello spazio avente una durata pari ad un valore critico per il bacino, chiamato tempo di corrivazione  $t_c$ . Quest'ultimo è definito come il tempo che impiega la goccia d'acqua caduta nel punto idraulicamente più lontano del bacino a raggiungere la sezione di chiusura.

Se la durata della pioggia,  $t$ , è minore di  $t_c$ , non tutto il bacino contribuirà contemporaneamente alla formazione del deflusso; alla fine della precipitazione tutte le parti più distanti del bacino non avranno ancora contribuito al deflusso nella sezione di controllo e quando questo avverrà (dopo un intervallo di tempo dato dalla differenza tra il tempo di corrivazione e la durata di precipitazione) le zone più vicine alla sezione di chiusura avranno cessato di impegnare la stessa. Viceversa, se la pioggia ha una durata maggiore di  $t_c$ , tutto il bacino contribuirà contemporaneamente al deflusso alla sezione di chiusura per un intervallo di tempo pari a  $t-t_c$  in cui la portata resterà costante e pari al valore massimo. Se invece si considera un tempo di precipitazione,  $t$ , pari al tempo di corrivazione del bacino,  $t_c$ , si ottiene l'idrogramma di piena con massimo picco, e l'espressione analitica assume la seguente forma con  $Q$  [ $m^3/s$ ]:

$$Q = \frac{\varphi S h}{3,6 t_c}$$

dove:

$\varphi$  [-] = coefficiente di deflusso del bacino che tiene conto delle caratteristiche di permeabilità dei suoli ricadenti nel bacino

$S$  [ $km^2$ ] = superficie del bacino

$h$  [mm] = altezza di precipitazione

$t_c$  [ore] = tempo di corrivazione

### 5.3.2 Determinazione del tempo di corrivazione

Per la stima del tempo di corrivazione è possibile utilizzare diverse formulazioni disponibili in letteratura, ognuna delle quali risulta valida per un determinato campo di definizione.

Nel progetto in esame sono state utilizzate le relazioni di seguito riportate:

Kirpich, utilizzando dati di sei piccoli bacini americani di estensione inferiore a  $0.43 \text{ Km}^2$ , successivamente Rowe e Thomas integrando con ulteriori misure, sono pervenuti alla seguente relazione:

$$t_c = 0.000325 \left( \frac{L}{\sqrt{i}} \right)^{0.77}$$

Pezzoli, sulla base di misure relative a piccoli bacini piemontesi di estensione inferiore a  $20 \text{ Km}^2$  ha proposto la seguente espressione:

$$t_c = 0.055 \frac{L}{\sqrt{i}}$$

Ventura, valido per i bacini di estensione inferiore ai  $40 \text{ km}^2$ :

$$t_c = 0.127 \sqrt{\frac{A}{i}}$$

Pasini:

$$t_c = 0,108 \frac{\sqrt[3]{L \cdot A}}{\sqrt{i}}$$

Kerby:

$$t_c = (0,342 \cdot N \cdot L \cdot i^{-0.5})^{0.467}$$

con N pari a

Description	N
Pavement	0.02
Smooth, bare packed soil	0.10
Poor grass, cultivated row crops or moderately rough bare surfaces	0.20
Pasture, average grass	0.40
Deciduous forest	0.60
Dense grass, coniferous forest, or deciduous forest with deep litter	0.80

Nelle precedenti formule il tempo  $t_c$ , è espresso in [ore], la lunghezza dell'asta, L, in [km], la superficie del bacino, S, in [km<sup>2</sup>] e la pendenza dell'asta, i, in [m/m].

Le relazioni hanno una struttura empirica e derivano da interpretazioni e osservazioni, devono quindi essere utilizzate nel rispetto dei loro campi di validità.

Il tempo di corrivazione è stato scelto funzione dei parametri di definizione delle formule.

In questo studio, come consigliato dal manuale di progettazione RFI, per bacini con superficie < di 10Km<sup>2</sup> viene utilizzato il tempo di corrivazione dedotto dalla formulazione di Kirpich.

Di seguito si riporta la stima dei tempi di corrivazione relativa ai bacini secondari:

Progressiva	WBS di progetto	Tc Ventura (ore)	TC Pezzoli (ore)	Tc Pasini (ore)	Tc Kirpich (ore)	Tc Kerby (ore)
-	-	(ore)	(ore)	(ore)	(ore)	(ore)
0+878.64	IN01	0.94	0.71	0.97	0.48	1.31
0+426.35	IN02	1.75	1.22	1.75	0.72	1.68

Per il calcolo della portata verrà utilizzato il tempo di corrivazione di Kirpich in quanto più cautelativo.

### 5.3.3 Determinazione del coefficiente di deflusso

Il coefficiente di deflusso è un parametro che esprime il rapporto tra il volume di precipitazione defluito dal bacino in un intervallo di tempo ed il volume di precipitazione affluito nel bacino idrografico nello stesso intervallo di tempo.

Il valore attribuito dipende quindi dalla tipologia dei suoli costituenti il bacino, in particolare i valori più bassi si riferiscono a terreni permeabili e superfici pianeggianti, mentre i valori più elevati a superfici pendenti e terreni



impermeabili. In particolare, nel libro “Sistemazione dei corsi d’acqua” di Da Deppo, Datei e Salandin, la classificazione è la seguente:

Tabella 5-1 Tabella dei coefficiente di deflusso per varie tipologie (fonte: Sistemazione dei corsi d’acqua-Da Deppo, Datei, Salandin)

<b>TIPOLOGIA</b>	<b><math>\varphi</math></b>
<b>Superfici pavimentate</b>	<b>0,7 - 0,9</b>
<b>Strade di terra</b>	<b>0,4 - 0,6</b>
<b>Superfici erbose</b>	<b>0,1 - 0,7</b>
<b>Aree residenziali</b>	<b>0,3 - 0,7</b>
<b>Boschi</b>	<b>0,1 - 0,3</b>
<b>Terreni coltivati</b>	<b>0,2 - 0,6</b>
<b>Terreni incolti</b>	<b>0,3 - 0,7</b>
<b>Terreni argillosi o roccia</b>	<b>0,7 - 0,9</b>

Per il progetto in essere per la determinazione del coefficiente di deflusso si è fatto riferimento all’uso del suolo delle aree interessate. Tale informazione è stata desunta da uno shape file fornito dal SIT della Regione Puglia. Il valore di  $\varphi_{TOT}$  dell’intero bacino si ottiene come media pesata dei valori stimati per le singole aree omogenee tramite la formulazione seguente:

$$\varphi_{tot} = \frac{\sum \varphi_i A_i}{A_{tot}}$$

dove:

$\varphi_{tot}$  = coefficiente di deflusso dell’intero bacino

$\varphi_i$  = coefficiente di deflusso della i-esima zona omogenea

$A_i$  = area della i-esima zona omogenea

$A_{tot}$  = area totale dell’intero bacino

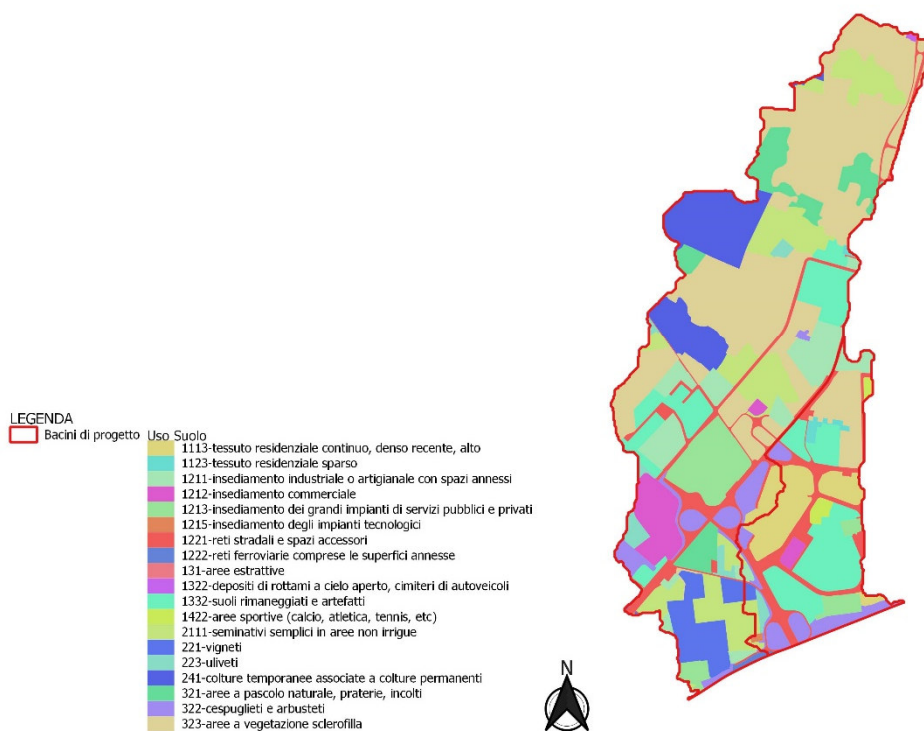


Figura 5-11 Uso del suolo

Di seguito verranno riportati i valori del coefficiente di deflusso ricavati per i bacini:

Progressiva	WBS di progetto	Coefficiente di deflusso $\Phi_{TOT}$
-	-	-
0+878.64	IN01	0,46
0+426.35	IN02	0,26

### 5.3.4 Implementazione del metodo cinematico

Implementando i dati fin qui ricavati è possibile, tramite il metodo cinematico, ricavare i valori della portata idrologica relativi ai bacini. A tali valori vanno sommate le portate di derivazione in testa nel caso il corso d'acqua derivi una parte di portata da altri corsi d'acqua, ed eventuali valori delle risorgive (riportate nel progetto definitivo), nel caso ci sia un contributo di quest'ultime all'idrografia in esame.

I risultati ottenuti sono i seguenti:

Progres.	WBS di progetto	Corso d'acqua	Tipo interferenza	Tipologia	Q idrologica	Q risorgiva	Q derivata	Q finale	Direzione di deflusso
-	-	-	-	-	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	((m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	
0+878.64	IN01	Corso d'acqua episodico	Interferenza con opera ferroviaria	Scolo	21,45	-	-	21,45	SO
0+426.35	IN02	Corso d'acqua episodico	Interferenza con opera ferroviaria	Scolo	35,51	-	-	35,51	SO

È evidente che la portata di progetto è una portata teorica e prescinde da eventuali condizioni di esondazioni della rete di monte. Maggiori dettagli saranno specificati nella relazione idraulica.

### 5.3.5 Metodo SCS Curve Number

Il modello del S.C.S. (Soil Conservation Service – National Engineering Handbook, section 4, Hydrology, U.S. Department of Agriculture, Washington D.C., U.S.A) si basa sul principio di linearità tra volume defluente, pioggia totale e volume invasato. Tale metodo ampiamente utilizzato negli Stati Uniti è utilizzato anche in Europa e citato e utilizzato dall'Autorità di bacino della puglia nello studio: " *Studio per la definizione delle opere necessarie alla messa in sicurezza del reticolo idraulico pugliese, con particolare riferimento alle aree del gargano, delle coste joniche e salentine della Regione Puglia*".

Tale metodo non solo consente di stimare le portate di piena associate all'evento meteorico critico ma, in generale, di stimare le portate defluenti al colmo in un corso d'acqua a seguito di un generico evento meteorico. Esso può essere pertanto tarato in modo molto preciso con qualsiasi evento meteorico noto.

Il metodo del S.C.S. parte dall'assunto di linearità tra deflusso diretto o pioggia efficace ( $V$ ), pioggia netta ( $P_n$ ) e volume invasato nel suolo ( $W$ ) e viene sintetizzato dalla seguente relazione in cui ( $S$ ) è un parametro che caratterizza il bacino.

$$\frac{V}{P_n} = \frac{W}{S}$$

Introducendo il concetto di perdite iniziali ( $I_a$ ) il deflusso diretto può essere scritto come segue (in cui  $P$  è la pioggia lorda):

$$V = \frac{(P - I_a)^2}{P + S - I_a}$$

dove, il Soil Conservation Service, propone:

$$I_a = 0,2 \cdot S$$

Da simulazioni e tarature fatte il parametro risulta particolarmente delicato per una buona taratura del metodo. In generale  $I_a$  è compreso tra 0 e  $0,2 S$ .

La stima del parametro ( $S$ ) viene fatta a partire dal Runoff Curve Number (CN), parametro caratterizzante il bacino:

$$S = 25,4 \cdot \left( \frac{1000}{CN} - 10 \right)$$

### 5.3.6 Determinazione del parametro Curve Number

Per la determinazione del Runoff Curve Number ci si basa su tabelle che ne stimano il valore in funzione del tipo di terreno, dell'uso del suolo e del grado di umidità iniziale. Individuati tali parametri il Curve Number è individuato in modo univoco.

Lo studio redatto dall'autorità di bacino riporta una tabella di CN relativa all'uso del suolo e alla tipologia di suolo.

Categorie di uso del suolo	Macrocategoria associata	A	B	C	D
Acquacoltive	Superfici al 100 % impermeabili	100	100	100	100
Altre colture permanenti	Terre coltivate con trattamenti di conservazione del suolo	62	71	78	81
aree a pascolo naturale, praterie, incolti	Pascolo in cattive condizioni	68	79	86	89
aree a ricolonizzazione artificiale (rimboschimenti nella fase di novello)	Boschi con copertura rada	45	66	77	83
aree a ricolonizzazione naturale	Boschi con copertura rada	45	66	77	83
aree a vegetazione sclerofilla	Boschi con copertura rada	45	66	77	83
aree aeroportuali ed eliposti	Aree residenziali (65 % impermeabili)	77	85	90	92
Aree agroforestali	Boschi con copertura rada	45	66	77	83
Aree archeologiche	Terrano incolto	77	86	91	94
Aree con vegetazione rada	Pascolo in cattive condizioni	68	79	86	89
Aree estrattive	Superfici al 100 % permeabili	0	0	0	0
Aree interessate da incendi o altri eventi dannosi	Boschi con copertura rada	45	66	77	83
Aree per gli impianti delle telecomunicazioni	Aree residenziali (65 % impermeabili)	77	85	90	92
Aree portuali	Parcheggi, veri, strade carrabili	98	98	98	98
Aree prevalentemente occupate da coltura agrarie con presenza di spazi naturali	Terre coltivate con trattamenti di conservazione del suolo	62	71	78	81
Aree sportive (calcio, atletica, tennis, etc)	Spazi aperti e parchi in condizioni medie	49	69	79	84
Aree verdi urbane	Aree residenziali (12 % impermeabili)	46	65	77	82
Bacini con prevalentemente utilizzazione per scopi irrigui	Superfici al 100 % impermeabili	100	100	100	100
Bacini senza manifeste utilizzazioni produttive	Superfici al 100 % impermeabili	100	100	100	100
Boschi di conifere	Boschi con copertura media	36	60	73	79
Boschi di latifoglie	Boschi con copertura media	36	60	73	79
Boschi misti di conifere e latifoglie	Boschi con copertura media	36	60	73	79
Campeggi, strutture turistiche ricettive a bungalow o simili	Spazi aperti e parchi in condizioni medie	49	69	79	84
Canali e idrovie	Superfici al 100 % impermeabili	100	100	100	100
Cantieri e spazi in costruzione e scavi	Aree residenziali (65 % impermeabili)	77	85	90	92
Cespuglieti e arbusteti	Boschi con copertura rada	45	66	77	83
Cimiteri	Aree residenziali (38 % impermeabili)	61	75	83	87
Colture orticole in pieno campo in terra e sotto plastica in aree irrigue	Colture in filari, diritti in cattive condizioni	72	81	88	91
Colture orticole in pieno campo in terra e sotto plastica in aree non irrigue	Colture in filari, diritti in cattive condizioni	72	81	88	91
Colture temporanee associate a colture permanenti	Terre coltivate con trattamenti di conservazione del suolo	62	71	78	81
Depositi di rottami a cielo aperto, cimiteri di autoveicoli	Aree commerciali (85 % impermeabili)	89	92	94	95

Categorie di uso del suolo	Macrocategoria associata	A	B	C	D
Discariche e depositi di cave, miniere, industrie	Terrano incolto	77	86	91	94
Estuari	Superfici al 100 % impermeabili	100	100	100	100
Fiumi, torrenti e fossi	Superfici al 100 % impermeabili	100	100	100	100
Frutteti e frutti minori	Colture in filari diritti in buone condizioni	67	78	85	89
Grandi impianti di concentramento e smistamento meteo	Aree commerciali (85 % impermeabili)	89	92	94	95
Inediamenti ospedalieri	Aree commerciali (72 % impermeabili)	81	88	91	93
Inediamenti produttivi agricoli	Aree residenziali (65 % impermeabili)	77	85	90	92
Inediamento commerciale	Aree commerciali (85 % impermeabili)	89	92	94	95
Inediamento degli impianti tecnologici	Aree commerciali (72 % impermeabili)	81	88	91	93
Inediamento dei grandi impianti di servizi pubblici e privati	Aree commerciali (85 % impermeabili)	89	92	94	95
Inediamento in disuso	Aree residenziali (38 % impermeabili)	61	75	83	87
Inediamento industriale o artigianale con spazi annessi	Aree commerciali (72 % impermeabile)	81	88	91	93
Lagune, laghi e stagni costieri	Superfici al 100 % impermeabili	100	100	100	100
Parchi interni	Superfici al 100 % impermeabili	100	100	100	100
Parchi salmastre	Superfici al 100 % impermeabili	100	100	100	100
Parchi di divertimento (acquapark, zoosafari e simili)	Spazi aperti e parchi in condizioni medie	49	69	79	84
Prati alberati, pascoli alberati	Pascolo in condizioni medie	49	69	79	84
Reti ed aree per la distribuzione, la produzione e il trasporto dell'energia	Aree commerciali (85 % impermeabili)	89	92	94	95
Reti ferroviarie comprese le superfici annesse	Strade in ghiaia	76	85	89	91
Reti stradali e spazi accessori	Strade pavimentate con cordoli e fognature	98	98	98	98
Rocce nude, faliese e affioramenti	Terrano incolto	77	86	91	94
Saline	Superfici al 100 % impermeabili	100	100	100	100
Seminativi semplici in aree irrigue	Grano in buone condizioni (filari diritti)	63	75	83	87
Seminativi semplici in aree non irrigue	Grano in cattive condizioni (filari diritti)	65	76	84	88
Sistemi colturali e particellari complessi	Terre coltivate senza trattamenti di conservazione del suolo	72	81	88	91
Spugge, dune, sabbie	Spazi aperti e parchi in condizioni medie	49	69	79	84
Suoli rimaneggiati e artefatti	Terrano incolto	77	86	91	94
Superfici a copertura erbacea densa	Pascolo in condizioni medie	49	69	79	84
Tessuto residenziale continuo antico e denso	Aree commerciali (85 % impermeabili)	89	92	94	95
Tessuto residenziale continuo, denso più recente e basso	Aree commerciali (85 % impermeabili)	89	92	94	95
Tessuto residenziale continuo, denso, recente e alto	Aree commerciali (85 % impermeabili)	89	92	94	95
Tessuto residenziale discontinuo	Aree residenziali (65 % impermeabile)	77	85	90	92
Tessuto residenziale rado e nucleiforme	Aree residenziali (38 % impermeabili)	61	75	83	87
Tessuto residenziale sparso	Aree residenziali (30 % impermeabili)	57	72	81	86
Uliveti	Colture in filari diritti in buone condizioni	67	78	85	89
Vigneti	Colture in filari diritti in buone condizioni	67	78	85	89

Figura 5-12 Determinazione dei valori di Curve Number per le categorie di uso del suolo della CTR Puglia (fonte: Autorità di bacino della Puglia)

Il metodo fa riferimento a tre livelli di umidità: condizioni di umidità bassa (AMCI), media (AMCII) ed alta (AMCIII) e a quattro tipi di suolo: con scarsa potenzialità di deflusso (A), con moderata potenzialità di deflusso (B), con potenzialità di deflusso moderatamente alta (C) e con potenzialità di deflusso molto elevata (D).

Per il caso in esame è stato ricalcolato il valore del parametro CN riferendosi ai bacini in esame interpolati con i dati sopra riportati in tabella.

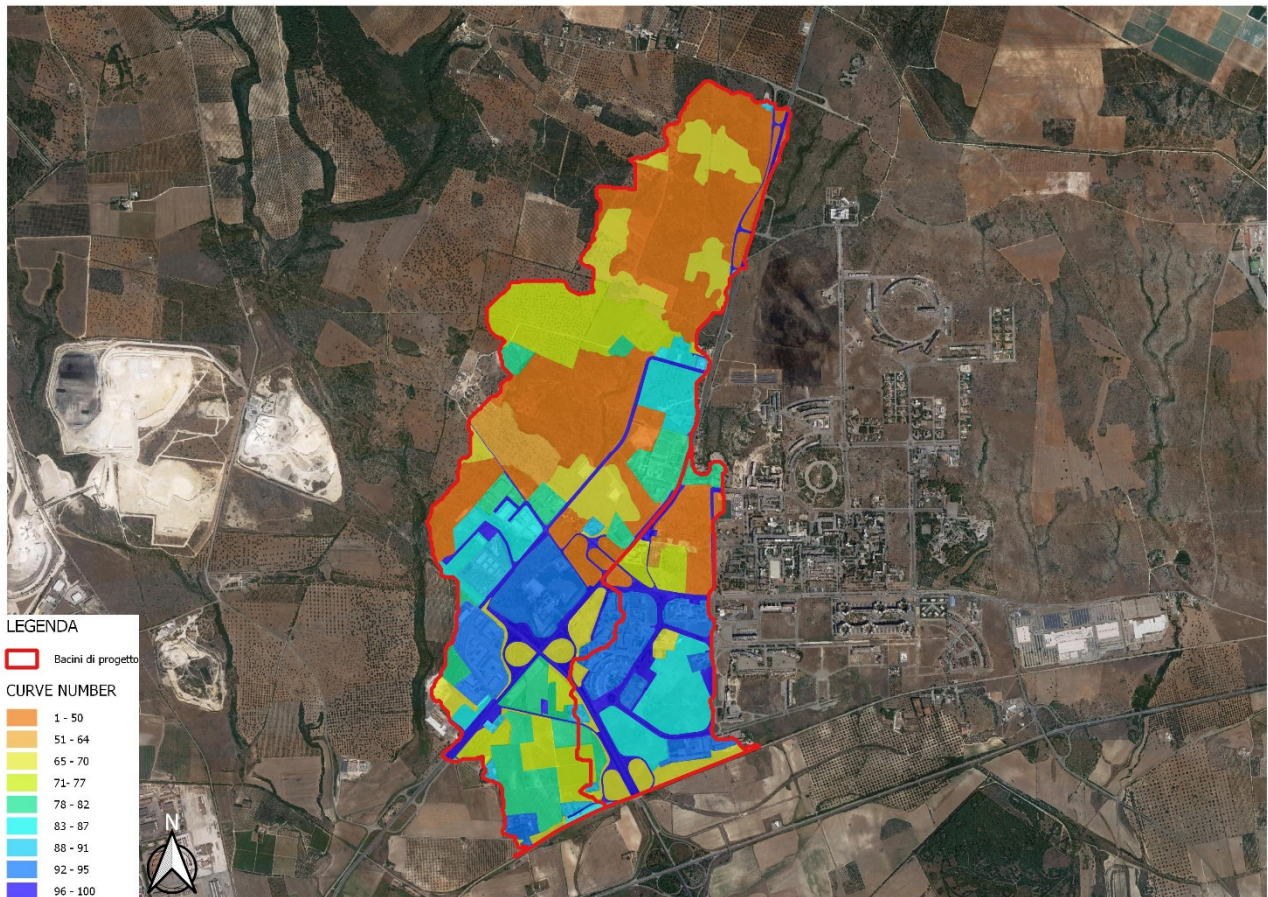


Figura 5-13 Parametri CN (AMCII) relativi ai bacini di progetto

Per considerare la situazione più gravosa è stato calcolato il parametro AMC III relativo ad uno stato del suolo già saturo tramite la seguente formulazione:

$$CN(III) = \frac{CN(II)}{(0,43 + 0,0057 \cdot CN(II))}$$

Progressiva	WBS di progetto	CN (II)	CN (III)
-	-	-	-
0+878.64	IN01	80,7	90,7
0+426.35	IN02	67,7	83,0

### 5.3.7 Implementazione del metodo SCS Curve Number

Per calcolare la portata di piena (Q), sono disponibili diversi modelli matematici. Tra i più semplici vi è l'idrogramma unitario sintetico di forma triangolare con il picco localizzato al 37,5% dell'evento di piena. Tale schematizzazione consente d'introdurre un'equazione particolarmente semplice, utile per il calcolo di bacini di piccole dimensioni, bacini per cui non avrebbe senso introdurre sistemi di calcolo più complessi. Dato un generico evento meteorico di durata  $t_p$ , e nota l'area (A) del bacino, la portata al colmo si calcola pertanto:

$$Q = 0,208 \frac{V \cdot A}{t_a}$$

Il tempo di crescita dell'onda ( $t_a$ ) viene calcolato nel seguente modo:

$$t_a = \frac{t_p}{2} + t_{LAG}$$

dove  $t_p$  è la durata dell'evento meteorico e  $t_{LAG}$  è il "lag time", il tempo di ritardo, che il S.C.S. propone di calcolare con la formula di Mokus, in cui (L) è la lunghezza dell'asta principale del bacino prolungata sino allo spartiacque e (i) è la pendenza media del bacino

$$t_{LAG} = 0,342 \cdot \frac{L^{0,8}}{i^{0,5}} \left( \frac{1000}{CN(III)} - 9 \right)^{0,7}$$

Il relativo tempo di corrivazione è determinato

$$t_c = \frac{t_{LAG}}{0,6}$$

In fase cautelativa è stato assunto il tempo di pioggia  $t_p$  pari al tempo di corrivazione  $t_c$

Progressiva	WBS di progetto	Area	jmedia bacino	T <sub>LAG</sub>	T <sub>c</sub>	T <sub>a</sub>
-	-	(km <sup>2</sup> )	(%)	(ore)	(ore)	(ore)
0+878.64	IN01	1.123	6	0,37	0,625	0,687
0+426.35	IN02	4.057	8,4	0,66	1,098	1,208

Di seguito sono riportati i valori di portata ricavati con il metodo SCS Curve Number per un tempo di ritorno pari a 200 anni.

Progres.	WBS di progetto	Corso d'acqua	Tipo interferenza	Tipologia	Q idrologica	Q risorgiva	Q derivata	Q finale	Direzione di deflusso
-	-	-	-	-	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	((m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	
0+878.64	IN01	Corso d'acqua episodico	Interferenza con opera ferroviaria	Scolo	19,20	-	-	19,20	SO
0+426.35	IN02	Corso d'acqua episodico	Interferenza con opera ferroviaria	Scolo	39,06	-	-	39,06	SO

## 6 CONCLUSIONI

L'analisi idrologica sviluppata ha seguito i vari punti esposti nelle premesse:

- Reperimento della cartografia di base;
- Individuazione dei bacini imbriferi;
- Analisi morfometrica dei bacini;
- Raccolta ed analisi dei dati pluviometrici disponibili;
- Elaborazione delle curve di probabilità pluviometriche;
- Definizione degli idrogrammi o delle portate al colmo di progetto.

In particolare l'analisi si è sviluppata così come indicato nel manuale di progettazione RFI:

- Per bacini secondari con superficie  $S < 10 \text{ km}^2$  è stato utilizzato il metodo cinematico-razionale e il metodo SCS Curve Number;

Si riportano per semplificazione i valori finale della portata che sarà utilizzata nei modelli idraulica, pari al maggiore dei valori derivanti dai due metodi:

Progres.	WBS di progetto	Corso d'acqua	Tipo interferenza	PORTATA	Tempo di ritorno	Direzione di deflusso
-	-	-	-	(m <sup>3</sup> /s)	(anni)	-
0+878.64	IN01	Corso d'acqua episodico	Interferenza con opera ferroviaria	21,45	200	SO
0+426.35	IN02	Corso d'acqua episodico	Interferenza con opera ferroviaria	39,06	200	SO





Stazione di Crispiano

TABELLA 1 - OSSERVAZIONI AL PLUVIOMETRO

STAZIONE PLUVIOMETRICA DI:		CRISPIANO						N.B. Valori di input in rosso su sfondo grigio Valori calcolati in nero su fondo bianco			
BACINO :											
QUOTA:											
Anni di osservazione		53									
Anno	INTERVALLO DI ORE										
	1		3		6		12		24		
	h(mm)	$X^2 = (h_i - M)^2$	h(mm)	$X^2 = (h_i - M)^2$	h(mm)	$X^2 = (h_i - M)^2$	h(mm)	$X^2 = (h_i - M)^2$	h(mm)	$X^2 = (h_i - M)^2$	
1958	20.00	157.43	33.40	106.75	46.60	51.04	51.40	105.48	83.80	225.00	
1959	51.20	347.94	51.20	55.77	51.80	3.78	64.40	7.45	109.20	1632.16	
1961	53.60	443.23	79.60	1286.51	79.60	668.53	109.80	2316.44	63.80	25.00	
1962	65.00	1053.20	81.00	1388.90	92.60	1509.79	96.00	1178.51	54.60	201.64	
1963	39.80	52.61	44.00	0.07	44.40	87.31	45.40	264.73	104.40	1267.36	
1964	30.20	5.51	54.40	113.81	66.80	170.46	81.20	381.40	50.80	324.00	
1965	14.80	314.95	26.20	307.37	43.60	102.90	72.00	106.70	88.40	384.16	
1966	56.40	568.97	78.20	1188.04	90.80	1373.15	108.00	2146.41	118.00	2420.64	
1967	42.40	97.08	63.40	386.83	63.40	93.24	63.60	3.72	42.00	718.24	
1968	37.80	27.59	47.00	10.68	52.20	2.38	53.00	75.18	76.80	64.00	
1969	40.00	55.55	49.40	32.13	85.80	1027.59	104.40	1825.80	36.40	1049.76	
1970	25.40	51.08	26.40	300.40	28.20	652.50	48.60	170.84	75.20	40.96	
1971	28.20	18.90	36.80	48.05	57.20	11.94	83.80	489.71	40.20	817.96	
1972	40.00	55.55	48.60	23.70	67.60	191.99	106.80	2036.66	53.20	243.36	
1973	20.00	157.43	30.80	167.24	36.80	287.10	36.80	618.55	35.60	1102.24	
1974	17.20	235.53	39.00	22.39	51.60	4.60	71.60	98.59	34.80	1156.00	
1975	16.00	273.80	27.20	273.31	28.20	652.50	30.20	990.40	55.20	184.96	
1976	34.00	2.11	47.40	13.45	64.80	122.24	72.80	123.86	44.40	595.36	
1977	23.60	80.05	24.00	389.35	32.40	455.57	37.60	579.39	40.60	795.24	
1978	35.00	6.02	47.60	14.96	48.00	32.99	53.20	71.75	59.00	96.04	
1979	13.00	382.08	20.40	544.38	21.40	1046.13	26.00	1272.39	30.80	1444.00	
1981	25.60	48.26	25.80	321.56	25.80	780.87	31.60	904.24			
1982			23.80	397.28	40.80	167.55	41.00	427.27	57.80	121.00	
1983	31.60	0.90	38.60	26.34	40.40	178.06	40.40	452.44	163.40	8949.16	
1984	16.20	267.22	18.60	631.62	26.60	736.80	34.40	743.68	65.60	10.24	
1989	56.40	568.97	58.80	227.04	58.80	25.56	59.00	7.13			
1991							30.40	977.85	37.60	973.44	
1992	26.80	33.03	31.00	162.10	31.60	490.36	31.60	904.24	51.40	302.76	
1993	29.20	11.20	29.20	211.18	29.20	602.41	30.20	990.40	41.40	750.76	
1996	40.00	55.55	88.60	2013.14	117.00	4001.32	138.40	5887.40	124.80	3136.00	
1997	32.00	0.30	45.40	2.78	58.60	23.58	60.00	2.79	65.40	11.56	
1999									62.00	46.24	
2000	17.40	229.43	18.00	662.14	23.60	908.66	37.60	579.39	164.00	9063.04	
2001	19.00	183.52	21.00	516.74	21.00	1072.17	28.60	1093.66	73.40	21.16	
2002	27.20	28.59	31.80	142.37	31.80	481.54	31.80	892.25	77.60	77.44	
2003	36.60	16.43	61.40	312.16	99.80	2121.16	111.80	2512.96			
2004	49.20	277.32	54.20	109.58	63.80	101.12	65.20	12.46	103.80	1225.00	
2005	27.00	30.77	30.40	177.74	37.00	280.36	45.80	251.88	93.80	625.00	
2006	66.60	1159.61	88.00	1959.66	135.20	6635.08	154.60	8635.88	57.20	134.56	
2007	25.20	53.98	45.20	2.16	60.40	44.30	71.80	102.60	83.60	219.04	
2008	23.20	87.37	45.40	2.78	69.60	251.41	76.00	205.33	56.00	163.84	
2009									74.40	31.36	
2010	32.20	0.12	42.40	1.77	62.20	71.50	75.20	183.04	63.00	33.64	
2011	19.00	183.52	38.60	26.34	59.40	31.99	68.00	40.06	50.40	338.56	
2012	29.40	9.90	48.40	21.79	55.00	1.58	56.60	25.71	68.40	0.16	
2013	36.60	16.43	37.60	37.60	43.40	107.00	46.20	239.34	47.40	457.96	
2014	30.20	5.51	53.20	89.64	56.00	5.09	56.00	32.16	59.80	81.00	
2015	23.40	83.67	42.80	0.87	67.80	197.57	69.00	53.72	53.20	243.36	
2016	30.20	5.51	60.00	264.65	61.00	52.65	62.80	1.28	37.20	998.56	
2017	37.60	25.53	37.60	37.60	40.60	172.76	43.20	341.16	69.80	1.00	
2018	46.00	180.98	46.00	5.14	46.00	59.97	46.00	245.57	101.00	1036.84	
2019	26.60	35.37	31.80	142.37	33.00	430.31	34.40	743.68	83.60	219.04	
2020	30.80	3.05	37.00	45.32	38.00	247.87	51.00	113.86	55.80	169.00	

TABELLA 2 - ELABORAZIONI STATISTICHE - METODO DI GUMBEL

N=	49	50	50	51	50
$M = \frac{\sum h_i}{N}$	32.55	43.73	53.74	61.67	68.80
$\sum X^2$	7988.62	15225.57	28828.32	42467.43	44228.80
$\sigma = \sqrt{\frac{\sum X^2}{N-1}}$	12.90	17.63	24.26	29.14	30.04
$\alpha = 1,283 / \sigma$	0.10	0.07	0.05	0.04	0.04
$\beta = M - 0,5772 / \alpha$	26.74	35.80	42.83	48.56	55.28

Tempo di ritorno	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
10 anni	hmax= 49.37 mm	66.72 mm	85.38 mm	99.68 mm	107.98 mm
25 anni	hmax= 58.90 mm	79.75 mm	103.30 mm	121.21 mm	130.18 mm
30 anni	hmax= 60.77 mm	82.30 mm	106.81 mm	125.43 mm	134.53 mm
50 anni	hmax= 65.98 mm	89.41 mm	116.60 mm	137.19 mm	146.65 mm
100 anni	hmax= 73.00 mm	99.00 mm	129.80 mm	153.05 mm	163.00 mm
200 anni	hmax= 79.99 mm	108.56 mm	142.95 mm	168.85 mm	179.29 mm
500 anni	hmax= 89.22 mm	121.17 mm	160.30 mm	189.70 mm	200.79 mm